

GONG YE
JIE NENG
JI SHU

工业节能技术

江苏省计划经济委员会

江苏科学技术出版社

工业节能技术

江苏省计划经济委员会

江苏科学技术出版社

本书编写组成员

主 编 方洪祖

编 委 孔德温 冯明之

审 稿 孙希鲁 赵承龙

工业节能技术

江苏省计划经济委员会

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：常州人民印刷厂

开本787×1092毫米 1/16 印张24 插页2 字数589,000

1987年3月第1版 1987年3月第1次印刷

印数1—10,000册

书号：15196·203 定价：4.65元

责任编辑 明素珍

序 言

(033) 容 出 五 宝 量 能 已 平 的 科 产 用 常 1-3 景 调
(333) 容 出 五 宝 量 能 已 平 的 科 产 用 常 1-3 景 调
(333) 容 出 五 宝 量 能 已 平 的 科 产 用 常 1-3 景 调
(333) 容 出 五 宝 量 能 已 平 的 科 产 用 常 1-3 景 调
(333) 容 出 五 宝 量 能 已 平 的 科 产 用 常 1-3 景 调

根据国家科委、经委与欧洲经济共同体签订的中国—欧洲经济共同体节能技术合作项目，江苏省计经委和江苏省节能技术中心受国家经委委托，从1982年起在南京举办了多期节能技术研究学习班，培训了一大批节能技术和管理人员。该项目由欧洲经济共同体资助并派遣专家讲课，目前这一合作还在继续进行之中，为了巩固和扩大成果，促进节能工作的深入开展，我们请方洪祖等同志对各期研究学习班的教材进行分析整理，并结合我国情况作了补充修改，编写成《工业节能技术》一书。

该书对具有共性的节能技术问题分章进行了讲述；系统地归纳了各技术领域的节能措施和实用图表资料；着重介绍了欧洲经济共同体国家的节能经验和便携式节能仪表；对热电联产和余能利用这两个重要领域作了较详细的专题讲述；对于热管、热泵、异步电动机调速、陶瓷换热器、最新的绝热保温材料和强化传热的措施等新技术也以较多的篇幅作了介绍。本书还注意到科学的能源管理和经济分析方法，例如，综合考虑了管理、技术和经济等问题的能源审计方法；能源的科学预测技术和能源计划的合理制订；考虑到货币时间价值的现值经济分析方法和追加投资分析方法等。本书的另一特点是采用了国际单位。

本书可作为节能学习班的参考教材，也可供从事能源工作的广大技术人员、管理人员和高等院校有关专业师生参考。

本书承蒙南京航空学院和南京能源工程学院孙希鲁教授和赵承龙教授审阅，江苏省节能技术中心和南京汽轮机厂许多同志为本书的出版付出了辛勤劳动，特致感谢！

由于工业节能技术涉及的领域非常广泛，而我们的知识水平有限，本书的缺点和错误在所难免，敬请有关专家和读者批评指正。

江苏省计划经济委员会
一九八六年九月

1

第五章 传 热

5.1 导热	(73)
5.2 对流换热	(76)
5.3 辐射换热	(80)
5.4 传热过程	(81)
5.5 热管道的散热损失	(83)
5.6 热设备的散热损失	(92)
5.7 保温材料和绝热材料	(92)
5.8 换热器	(94)
5.9 传热过程的强化	(98)
5.10 热管	(101)

第六章 蒸汽系统

6.1 蒸汽载能体	(107)
6.2 锅炉的种类	(107)
6.3 水质监督和水处理	(111)
6.4 锅炉的效率	(117)
6.5 锅炉的日常运行记录	(120)
6.6 蒸汽系统的节能措施	(121)

第七章 干燥和蒸发

7.1 干燥和干燥理论	(127)
7.2 平衡含水量	(128)
7.3 湿空气的热力性质	(129)
7.4 干燥设备的分类	(130)
7.5 典型的直接干燥器介绍	(131)
7.6 典型的间接干燥器介绍	(136)
7.7 特种干燥器	(138)
7.8 干燥过程的节能措施	(139)
7.9 蒸发原理	(140)
7.10 多效蒸发器	(141)
7.11 机械蒸汽再压缩蒸发器	(142)
7.12 热再压缩蒸发器	(144)
7.13 蒸发器的节能措施	(144)

第八章 蒸 馏

8.1 蒸馏过程	(149)
8.2 节能的可能性	(151)
8.3 低投资方案	(152)
8.4 中等投资提高能源利用率的方案	(153)
8.5 大投资方案	(155)
8.6 其它的节能方案	(159)

第九章 泵送和压缩

9.1 概述	(166)
9.2 泵的分类和主要性能参数	(167)
9.3 叶轮式泵	(168)
9.4 容积式泵	(171)
9.5 压缩机的分类和主要用途	(174)
9.6 活塞式压缩机	(177)
9.7 离心式压缩机	(178)
9.8 轴流式压缩机	(181)
9.9 泵和压缩机的驱动	(182)
9.10 泵送和压缩的节能措施	(184)

第十章 照 明

10.1 照明和节能	(186)
10.2 光的度量与单位	(186)
10.3 光源的运用特性	(189)
10.4 电光源	(190)
10.5 照明器	(193)
10.6 照度标准	(197)
10.7 光损失因数	(202)
10.8 照明的节能措施	(206)

第十一章 建筑物的空气调节

11.1 空气调节房间的热负荷和冷负荷	(209)
11.2 空气调节过程	(211)
11.3 空气调节系统简介	(214)
11.4 能量有效利用的基本原则	(215)
11.5 能量消耗的监测	(216)

第十二章 燃料油的贮存和输送

12.1 燃料油的质量	(218)
12.2 燃料油的贮存和加热要求	(223)
12.3 燃料油的输送	(226)

第十三章 电力的需求和供应

13.1 工业企业对电力的需求	(228)
13.2 电力系统	(229)
13.3 调峰发电厂	(233)
13.4 电力的合理收费	(236)
13.5 无功补偿	(239)
13.6 异步电动机的调速	(242)
13.7 均衡用电的措施	(246)

第十四章 热电联产

14.1 热电联产概述	(247)
14.2 背压式汽轮机热电联产系统	(250)
14.3 抽汽式汽轮机热电联产系统	(252)
14.4 抽汽背压式汽轮机热电联产系统	(254)
14.5 凝汽式汽轮机改造为热电联产机组	(256)
14.6 燃气轮机热电联产系统	(258)
14.7 热电联产的经济性	(259)

第十五章 余能利用

15.1 工业余能概况	(262)
15.2 工业余能量的估算	(264)
15.3 余热锅炉	(266)
15.4 换热器的应用	(271)
15.5 热泵的应用	(274)
15.6 膨胀透平的应用	(279)

第十六章 节能项目的经济分析

16.1 经济分析的重要性	(282)
16.2 投资的简单偿还时间和报酬率	(282)
16.3 现值分析法	(283)
16.4 贴现偿还时间和内部报酬率	(286)
16.5 净现值比率	(289)
16.6 追加投资分析法	(291)
16.7 灵敏度分析和方案比较	(292)

第十七章 工业能源审计

17.1 工业能源审计的目的	(293)
17.2 能源审计的范围和人员培训	(294)
17.3 工业能源审计的基本程序	(295)
17.4 能量平衡分析	(300)
17.5 评价能源利用水平的技术指标	(302)
17.6 工厂能源管理	(305)
17.7 工业能源审计的实例	(306)

第十八章 国家和节能

18.1 能源与经济发展的关系	(308)
18.2 国家能源计划的目的	(311)
18.3 科学预测的方法	(312)
18.4 国家能源计划的组成	(316)
18.5 提高能源利用率的主要障碍	(318)
18.6 国家的节能政策措施	(320)
18.7 节约能源管理暂行条例	(324)

附 录

附录 1	中华人民共和国法定计量单位	(330)
附录 2	惯用单位对国际单位的换算系数表	(332)
附录3-1	常用气体的质量定压比热容	(337)
附录3-2	常用气体的容积定压比热容	(338)
附录3-3	常用气体的平均质量定压比热容	(339)
附录3-4	常用气体的平均容积定压比热容	(340)
附录4-1	饱和水与饱和蒸汽表(按压力排列)	(341)
附录4-2	饱和水与饱和蒸汽表(按温度排列)	(342)
附录4-3	过热蒸汽表	(343)
附录4-4	未饱和水表	(347)
附录 5	常用保温材料和绝热耐火材料的性能	(348)
附录 6	常用材料沿表面法线方向上辐射黑度 ϵ	(349)
附录7-1	简短能源审计表	(350)
附录7-2	全面能源审计表	(353)
附录 8	评价企业合理用电技术导则 (GB3485-83)	(363)
附录 9	评价企业合理用热技术导则 (GB3486-83)	(369)
参考文献		(376)

会 员 委 员 会 秘 书 长 高 志 斌

日 六 月 六 八 一

第一章 绪论

1.1 引言

现代化的生产和生活都与能源密切相关。要发展生产和提高人民的生活水平，必然要相应地增加能源的消耗，因而必须解决好能源问题。解决能源问题的途径有两条，一条是扩大能源的开发和生产，并积极发展新能源；另一条是在生产和生活中广泛地开展节能，提高能源利用率。

几乎在所有国家里，工业都是主要的能源消耗部门，其消耗量常常达到国家总能源消耗的三分之一以上。而且，工业领域也是商品燃料的主要消耗部门。按照目前工业生产的具体情况来考虑，节能的潜力是很大的。据一些资料报道，通过对某些国家各种工业部门的能源审计，一些发展中国家工业部门的节能潜力达20—30%，而只需花费少量的投资。一些发达国家的工业部门的节能潜力也有10—20%。如果进一步采用先进的工艺技术，用能量转换效率高的新设备代替陈旧的低效设备，花费较多的投资，各工业部门的节能潜力还可大幅度提高。

所谓节能，就是要更加有效地利用能量资源。它并不意味着可以减少产品的产量或降低人民的生活标准。对于工业生产而言，一种产品单位产量的能耗是衡量该工厂能源利用率的重要指标，它可以通过加强能源管理，采用先进的生产工艺，加强测试，减少损耗等措施来改进。从更广泛的意义上讲，每一种产品的生产都要消耗一定的能量，也就是说，每一种工业产品和原材料都包含有一定的内蕴能量，因此，提高产品合格率，延长制品的使用寿命和节约原材料，都意味着节能，这是更加广义的节能。

在工业领域进行节能不仅仅是技术问题，而且有大量的科学管理和经济方面的问题。本书准备从技术、经济 and 科学管理三方面进行系统的讲述。

在技术方面，由于工业节能涉及的内容非常广泛，我们没有采用分行业讲述的办法，而是针对工业领域普遍存在的具有一定共性的技术问题，进行分章阐述。对于各个技术领域都着重讲述与能源的使用和转换有关的内容，并且归纳了一些有效的节能措施。本书还介绍了西欧国家的一些先进的能源测试技术，例如，应用微机的智能化仪表—燃烧效率监测仪等。书中还注意提供一些方便的图表资料，例如，各种燃料燃烧后的烟气成分和排烟损失曲线，热管道的热损失曲线等。对于热电联产和余能利用这两个工业节能的重要领域，本书作了较详细的专题讲述。对于热管、热泵、异步电动机调速、陶瓷换热器和高温绝热材料等节能新技术，本书也以较多的篇幅作了介绍。

经济效益的好坏往往是一个节能项目能否实现的关键。由于一个国家或一个企业的财力都是有限的，其资金可以用于生产投资以获取利润，也可以用于节能项目投资以节约能源，其最终取舍往往是决定于经济效益的好坏。本书介绍了西欧国家经常使用的现值分析和追加

投资分析等经济分析方法，它考虑了货币的时间价值，比采用简单投资回收期来分析经济问题更加合理，所得结论也更加可信。此外，还介绍了欧美国家电力的合理收费方法，它有利于促进电力用户主动改善功率因数和实行均衡用电。这些经验可供我国借鉴参考。

对能源实行科学管理，可以花费很少的代价，较大幅度地提高能源利用率。本书介绍了欧洲经济共同体国家广泛采用的能源审计(Energy Audit)方法，该方法是从企业的管理、制度和技术等多方面进行全面的分析和审查，有利于促进企业建立科学的能源管理体制。此外，还介绍了西欧国家制定国家能源计划的内容和过程，以及一些促进企业节能的有效政策措施。

1.2 能源的分类

人类所使用的能源种类繁多，有各种分类方法。最常用的一种方法是分为一次能源和二次能源两大类。一次能源是直接取自自然界，没有经过人类加工转换的各种能量资源，包括原煤、原油、天然气、油页岩、核能、太阳能、水力、风力、波浪能、潮汐能、地热、生物质能、海洋温差等等。由一次能源经过人类加工转换以后得到的能源产品称为二次能源。例如，电力、蒸汽、煤气、汽油、柴油、煤油、重油、液化石油气、酒精、沼气、氢气、焦炭等等。

由一次能源加工转换为二次能源产品，通常都伴随着一定的能量损失，存在着一个转换效率问题。例如，现代的炼油工业中，典型情况下一个能量单位的原油可产生0.90—0.95个能量单位的二次能源产品；现代典型的发电效率只有25—35%，在输配电过程中还要发生附加的损失。

一次能源还可以进一步分为再生能源和非再生能源两大类。再生能源包括太阳能、水力、风力、生物质能、波浪能、潮汐能、海洋温差等，它们在自然界可以循环再生。非再生能源包括原煤、原油、天然气、油页岩、核能等，它们是不能再生的，用一点便少一点。

表1-1根据美国的资料，对主要一次能源的资源和应用等方面进行了比较。

还有一种方法是將能源分为常规能源和新能源两大类。常规能源是一些被人类利用的时间久远，为人们所熟悉，当前应用比较广泛的能源。例如，煤炭、石油、天然气、油页岩、水力、电力等。而新能源是最近一、二十年才逐渐为人们所重视，加以开发利用的能源，目前在能源应用中占有的比例不大，但将来很有发展前途。例如，太阳能、风能、地热、生物质能、波浪能、潮汐能、氢能、核能等。当然，上述分类是不太严格的。象太阳能、风能、生物质能等，很久以前已为人类所利用，只是在利用的规模和方式上与现代不同而已。

1.3 工业节能的基本原则

要在工业领域推行节能，首先需要明确一些普遍适用的工业节能的基本原则，现归纳如下：

1. 考查所有工业能源使用的方式和范围，包括生产设备的尺寸规格是否合适，按照各种生产过程目前的能耗水平，来判断生产设备的规格是否合理。
2. 系统地测量生产设备的能量和物料流动的情况，详细地记录有关数据。为了便于测量

表 1-1 主要一次能源的比较

一次能源种类	连续性	可用年限	商业应用年份	功率范围	二次能源输出	环境影响	备 注
优质煤	连续	150年	现在	不限	电、热、油、煤气	大气污染、排灰处理	
劣质煤	连续	150年	1990年	>10MW	电、热、煤气	大气污染、大量排灰	在流化床中燃烧
油	连续	30年	现在	不限	电、热、机械功	大气污染、铅释放	可作化工原料
天然气	连续	50年	现在	不限	电、热、机械功	有限的大气污染	可作化工原料
水力	一般连续	可再生	现在	不限	电	河流必须建坝	常用作尖峰负荷
热中子反应堆	连续	30年	现在	>200MW	电	放射性裂变产物的处理	最好用作基本负荷，未来可利用剩余的铀
快中子反应堆	连续	>500年	1990年	>1000MW	电	放射性裂变产物的处理	最好用作基本负荷
核聚变	连续	无限	2030—2050年	>1000MW	电	放射性废料	最好用作基本负荷
波浪能	不连续	可再生	1995年	>0.5MW	电	可忽略	
太阳能供热	不连续	可再生	现在	10KW—10MW	热	可忽略	
太阳能直接转换	不连续	可再生	1990年	<500KW	电	可忽略	
生物质能	连续	可再生	1990年	不限	气体或酒精	可忽略	目前酒精已被掺入汽车燃料中，称为汽油酒精
潮汐能	连续	可再生	现在	>1MW	电	潮区必须建坝	建造周期长
地热能	连续	可再生	2000年	>1MW	热、电	地热蒸汽含硫	机组大小决定于岩石构造
风能	不连续	可再生	现在	<1MW	电、机械能	噪音大、结构笨	功率输出变化大

数据的相互比较，测量时应采用统一的单位和定义，最好采用国际单位制。

3. 测量仪表必须进行适当的校正和维修，无论是便携式仪表还是在设备上固定安装的仪表，以便取得精确而可靠的测量数据。

4. 应当尽量提高产品的使用寿命和减少废品生产，因为任何产品的生产都需消耗一定的能量，也就是说，任何产品都具有一定的内蕴能量。提高产品的使用寿命便相当于节约了能源，而生产了废品便意味着浪费了能源。特别是金属材料、玻璃、纸张、塑料和耐火材料等内蕴能量较高的产品。

5. 应当注意节约原材料和废旧材料的回收利用。因为工业原材料都有一定的内蕴能量，节约原材料便相当于节能。

6. 许多工业节能工作都是力图以较少的能量输入，去取得同样的过程变化。或者用给定的能量输入发出尽可能多的功。大部分生产用能量最终都是以热量的形式损失到外部环境中。因此，应当对加工过程进行考察，对热量损失的原因进行鉴别，看看热量损失是否可以预防，或在较低等级的过程中加以利用。

7. 对于某些能源，例如蒸汽或其它工质的热能，不仅要注意其数量方面的节约，而且要注意其质量方面，不要轻易使能源降低等级，不要使高品质的能源降低为低品质的能源，能源品位的降低意味着其做功能力的降低。例如，含能介质温度和压力的每一次降低，应当取得最大数量的有用功。

8. 对每一单独的节能措施都应当进行分析，保证不致引起生产工艺过程的改变，从而导

致总能耗的增加。节能要与生产工艺过程结合起来考虑，也就是要从系统工程学的观点来考虑节能。

1.4 工业节能的潜力

目前许多国家的工业部门都普遍开展了能源审计工作。根据大量能源审计工作的结果可以看出，当前工业领域的节能潜力是相当大的。例如，表1-2列举了英国部分工业的节能潜力，其数据取自英国工业部1977年12月发表的“工业节能潜力的初步分析”一文。

表1-3列举了美国部分高能耗工业的节能潜力，其数据是以1972年的能耗指标为基础，至1980年1月所取得的能源效率的改进。

表1-2 英国部分工业的节能潜力

工业类别	节能潜力，%
肥皂和洗涤剂	8
合成树脂、塑料、橡胶	12
染料和颜料	12
铜、黄铜和铜合金	35
机床	18
工业设备和钢铸件	17
电力机械	24
纺织机械	10
鞋、袜	18
砖瓦、耐火砖和耐火材料	7
玻璃	9
木材	28
造纸和纸板	13

英国 E/DI 公司 1980 年至 1981 年在突尼斯对部分工厂进行了能源审计工作，根据六个工厂审计的结果，可以近似地估计节能潜力如下：

炼钢厂	20%
水泥厂(湿法)	15%
水泥厂(干法)	5%
砖瓦厂	30%
磷肥厂	20%
造纸厂	30%

1.5 工业节能的措施

由1.4节可见，目前工业领域的节能潜力是比较大的，发展中国家约有20%—30%，即使是发达国家也有10—20%。但要取得相应的节能效果，必须采取一系列有效措施，花费一定的投资才行。节能措施大致可以分为三种类型：

1. 辅助措施：对现有的生产工艺过程和设备运行效率作改进，花费很少的投资甚至不花投资，可以在短期内见效。例如，对能耗进行监控，更精细地控制设备的运行，改进维修保养工作，消除泄漏，调整生产工艺流程等。

2. 少量投资措施：对设备进行比较简单的修改，花费少量投资，可以在

表1-3 美国部分高能耗工业的节能潜力

工业类别	节能潜力，%
食品	13
纺织品	25
纸张和有关产品	23
化工产品	17
炼油	20
石料、陶瓷和玻璃制品	16
主要金属工业	14
装配式金属产品	25
机械(电力机械除外)	17
运输设备	18

稍长一些时间内取得节能效果。例如，采用优质的绝热和保温材料，对管道和水箱改善保温结构；安装附加的测试仪表以改进生产过程的控制；回收凝结水；安装附加的换热器以回收余热；换装高效率的照明设备；安装燃烧空气预热器；改进功率因数；调整电力负荷等。

3. 大量投资措施：使用最新的能量转换效率较高的技术，对设备进行重大的更换或修改，花费较多的投资，可以在中等时期或较长时期内取得节能效果。例如，用高效率的锅炉更换老式锅炉；用新型的高效率加工设备更换老设备；采用高效率的新生产工艺过程代替原来的生产工艺过程等。

在工业领域中为了实现有效的节能，一般讲，其总投资从一个工厂到另一个工厂，或从一个工业领域到另一个工业领域会有很大的变化。我们节能工作的任务是花费较少的投资，力图取得最好的节能效果。

1.6 新建工厂的节能考虑

对现有工厂和设备进行节能的重要性已经得到公认，并且在短期内可以取得明显的效果。然而，从长远的观点看，要大幅度提高能源利用率，必须将有关节能的原则和工艺技术应用到新建工厂和新生产的设备中去，必须在设计、制造和设备选用时，尽量注意能源的有效利用，避免能源浪费。

随着国家经济建设的发展，必将不断地建设新工厂，安装新设备，同时要对陈旧过时的老设备作适当的淘汰更新。若以1980年拥有的设备数为基准，考虑几种不同的新设备增长率和一定的老设备淘汰率（假设为1%），便可以预算出各个时期安装设备的比例（表1-4）。

由表1-4可见，当设备增长率为4%时，至2000年将有一半以上的设备为1980年以后新安装的设备。如有更高的设备增长率，这一比例还将进一步增加。由此可见，将节能原则贯彻到新建工厂和新增加设备上去的重要意义。

表 1-4 各个时期安装设备的比例预测

设备增长率(%)	1990年		2000年		
	1980年前安装的设备(%)	1980—1990年安装的设备(%)	1980年前安装的设备(%)	1980年—1990年安装的设备(%)	1990年—2000年安装的设备(%)
4	65.3	34.7	42.6	22.7	34.7
6	53.3	46.7	28.4	24.9	46.7
8	43.8	56.2	19.2	24.6	56.2
10	36.2	63.8	13.1	23.1	63.8
12	30.0	70.0	9.0	21.0	70.0

量热值出效率... 要... 量热值出效率... 要... 量热值出效率... 要...

第二章 基础知识

本章汇集了工业节能工作中经常使用的各种基础知识，例如，计量单位和换算系数；量热法和燃料的热值；石油类液体燃料的特性；煤和固体燃料的特性；气体燃料的特性；空气和常用气体的特性；蒸汽的特性等。供广大节能工作者方便地查阅和使用。

2.1 计量单位和换算系数

工业节能工作在很大程度上与燃料的燃烧、电力的使用、传热以及各种能量（如电能、热能、机械能等）之间的相互转换有关。因而必须熟悉与这些物理量和变化过程有关的计量单位。

关于能量及其转换方面的计量单位非常混乱，这给节能工作者带来了很大的不便。1960年第11届国际计量大会通过了国际单位制，其国际符号为SI。它是在米制基础上发展起来的比较完善、科学、实用的单位制。它可应用于各个科学技术领域及各行各业，从而代替历史上遗留下来的几乎所有的单位制和单位。目前，世界上绝大多数国家和一些国际性的科学技术组织，都已宣布采用，其中包括传统的英制国家。

1984年2月国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，确定了以国际单位制单位为基础的我国法定计量单位，规定了具体实施的措施和步骤。附录1列出了我国的法定计量单位，它包括以下六部分：国际单位制的基本单位（表1）；国际单位制的辅助单位（表2）；国际单位制中具有专门名称的导出单位（表3）；国家选定的非国际单位制单位（表4）；由以上单位构成的组合形式的单位，由词头和以上单位所构成的十进倍数和分数单位（词头见表5）。

然而，在科技文献和日常使用中，仍然会碰到许多惯用单位。因而，我们必须知道这些惯用单位与国际单位之间的换算关系。附录2列举了节能工作中经常碰到的一些惯用单位与SI单位之间的换算系数。本书采用了SI单位制，一些公式和图表中，与计量单位有关的系数也作了相应的换算（个别情况例外）。对某些表示范围的数据，只作了近似的换算，以便获得比较规整的数据，例如， $1 \text{ kgf/cm}^2 \approx 0.1 \text{ MPa}$ 。

2.2 燃料的热值

燃料最重要的特性之一是单位质量或单位体积的燃料完全燃烧时所能够释放出的热量，这一数值称为热值或发热量，通常表示为J/g，kJ/kg，kJ/m³，kJ/mol等。燃料的热值要经常地测定，以便确定燃料的价格和作为发动机、锅炉、窑炉等设备效率计算的基础。

通常使用两种热值：高热值 Q_G ，有时称为总热值；低热值 Q_D ，有时称为净热值。

高热值定义为,量热器中单位数量的燃料在等容状态下完全燃烧所产生的热量,燃烧前和燃烧后的参考温度均定为 15°C 。因为实际上所有商业燃料的燃烧产物中都含有水,在 15°C 的参考温度下可保证燃烧产物中的水处于液相。所以,高热值中包括了水的汽化潜热,汽化潜热在水凝结过程中被释放出来。

在大多数实际燃烧过程中,不可能或者不希望在燃烧过程中形成凝结水。低热值定义为高热值减去燃烧所产生水的汽化潜热。因而,当计算燃烧炉、窑炉和锅炉燃烧的释放热量时,采用燃料的低热值更加符合实际情况。高热值与低热值之间的差别取决于燃料中的氢/碳比,其数值可能有很大的变化。典型的燃料低热值与高热值的比值为:天然气0.90;燃料油0.94;煤0.98。

在进行能源计算时,两种热值都可以使用。我国和欧洲国家一般均使用低热值,而美国却经常使用高热值。在大多数情况下使用低热值更加方便,因为它代表了燃料中包含的可实际利用的能量。当进行燃料的代换计算时,可以燃料的低热值为基础直接比较,比较方便。但是,不能以高热值为基础直接比较。常用燃料的热值数据将在以后介绍。

2.3 量热法

燃料的热值是采用量热器来测定的。不同类型的燃料,需采用不同类型的量热器来测定其热值。固体和液体燃料通常采用氧弹量热器,而气体燃料需采用流动型量热器进行分析。此外,蒸汽量热器用来测定热容量、反应热、或生物过程中的能量变化,微分扫描量热器用于微分热量分析。

氧弹量热器是测定燃料热值时使用得最普遍的一种仪器,它是一种间歇型的分析仪器。将一份有代表性的液体或固体燃料试样,放在金属压力容器中的氧气中燃烧(氧弹)。燃烧释放出来的热量被量热器中的介质吸收,使其温度升高。将此温升值乘以预先测定的量热器的热当量或热容量,可以求得这一份燃料试样的发热量。对于在量热器中发生的任何传热现象和弹式燃烧过程所特有的侧壁反应,需要进行适当的修正。

测定气体燃料的热值,有三种基本形式的气体量热器:

1. 高热值型 其测定结果为燃料的高热值;
2. 低热值型 其测定结果为燃料的低热值。该仪器需要按被试验的气体进行校正,因为其测试结果受被试气体成分的影响;

3. 推理型 该仪器根据气体的某些特性来推理。例如,火焰外观、最高火焰温度、比重和气体分析结果。其中最普通的是气体色谱分析仪,它能鉴别气体试样的成分并定量分析,气体燃料的热值可以根据其成分计算求出。

最常用的气体量热器是连续记录型,例如,客特洛-哈姆(Cutler-Hammer)量热器,它用空气作为吸热介质,将测定过份量的气体燃料的燃烧热量传递给测定过份量的空气,测定出温升后便可计算出气体燃料的热值。气体的温升由一对电阻温度计感受,这一对温度计的电阻构成自平衡惠斯顿电桥型纸带记录仪的两条臂,刻度和记录纸带直接按千焦/米³或千卡/米³来标定,该仪器的完整资料在 ASTM 标准 D1826-64(70)中提供,标题为“用连续记录型量热器测定天然气类气体的热值”。

2.4 氧弹量热器

氧弹量热器由四部分组成：(1) 氧弹，燃料试样在其中装料燃烧；(2) 桶，它装有氧弹和给定数量的水，以吸收氧弹所释放的热量。还装有一个搅动装置，以保证温度均匀分布；(3) 外套，它保护桶不致受瞬变热应力的破坏；(4) 温度计，用来测量桶中温度的变化。

氧弹是一个高强度的厚壁金属容器，它可以打开，装入燃料试样、清洁和回收燃烧产物。它装有一个阀门，可以在高压下充入氧气，试验完成以后排出残余气体。还装有一套电点火装置。由于燃烧时可产生10兆帕(MPa)以上的内压力，因此，大多数氧弹的结构应能承受20 MPa以上的压力。由于在氧弹潮湿的高压氧气环境中，燃料中含有的硫将转化成硫酸，氮也将氧化形成硝酸，对氧弹形成强烈的腐蚀作用，所以氧弹一般均采用一种复杂的镍-铬合金。

量热器的桶内装有氧弹和足够数量的水，水将氧弹完全浸没，并吸收氧弹中燃料释放的热量。桶中安装了一只搅动器，使桶和水迅速地取得热平衡。桶系统必须仔细地设计，水容量必须适当，既能迅速地吸收释放出的热量，又不影响到测量灵敏度。搅动器和桶的形状需要良好地设计，以免由摩擦引入过多的机械能转化的热量。桶表面需高度抛光，以减少热辐射的吸收和发散。

量热器的外套有普通型和绝热型两种。普通外套的量热器(图2-1)比较简单和便宜，多用于使用不太频繁的地方或作教学使用。如果操作者能够注意对损失的热量进行修正，可以得到足够的精确度。有经验的操作者用普通外套的量热器做一次试验平均需要一小时。绝热外套的量热器(图2-2)精度比较高，但

价格较贵。它需要在整个测试期间控制外套的温度，使外套的温度始终等于桶的温度，从而消除了桶与外套之间的热量传递，达到了绝热状态。因而它能够快速方便地作高精度测量，不需要进行热量损失的修正。所以，绝热外套量热器获得了普遍的应用。用手工控制的绝热外套量热器每小时可以做两次试验，而自动控制的绝热型量热器每小时可以做三次试验。

温度计用来测量桶中温度的变化，它应具有极好的分辨率和重复性。玻璃水银温度计、电阻温度计和石英晶体振荡温度计都可使用。

用氧弹量热器测定燃料的热值之前，首先需要确定该量热器的热当量。通常是在量热器中预先测试一种已精确地知道其热值的燃料试

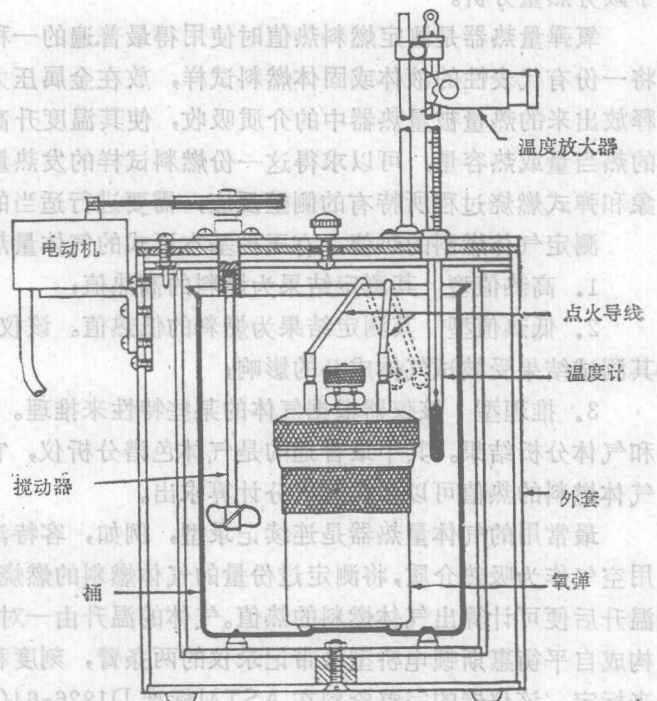


图2-1 普通型氧弹量热器